

冷轧薄钢板 表面镀锡 / 镀铬技术

李建中 厉英 编著



科学出版社

冷轧薄钢板表面镀锡/镀铬技术

李建中 厉英 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

《冷轧薄钢板表面镀锡/镀铬技术》共4章：第1章，镀锡/镀铬基板，从生产流程的角度着重介绍镀锡/镀铬产品对基板物理特性、组织结构等的要求；第2章，镀锡/镀铬电沉积基础，在介绍电沉积过程所涉及的基本概念基础上，着重介绍电化学理论；第3章，冷轧薄钢板表面镀锡技术，主要介绍电镀锡基本方法、电镀锡的溶液组成及工艺条件、电镀锡的沉积机理、电镀锡的后处理、镀锡板的性能及其检测方法等；第4章，冷轧薄钢板表面镀铬技术，主要介绍镀铬过程原理，镀铬板的生产工艺、表面性能、检测方法及其生产过程的阳极腐蚀。

本书内容简洁，强调基础，注重相关理论知识的应用与分析，可供从事镀锡/镀铬的工程技术人员使用，也可供有关科研人员和高校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

冷轧薄钢板表面镀锡/镀铬技术/李建中，厉英编著. —北京：科学出版社，2016

ISBN 978-7-03-051381-6

I. 冷… II. ①李… ②厉… III. 冷轧-薄钢板-金属表面处理-研究 IV. TG335.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 316722 号

责任编辑：张淑晓 / 责任校对：彭珍珍
责任印制：肖 兴 / 封面设计：耕者设计

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年12月第 一 版 开本：720 × 1000 1/16

2016年12月第一次印刷 印张：25

字数：500 000

定价：138.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

前 言

电镀技术应用于生产已有百余年历史，且电镀产品种类众多。进入 21 世纪以来，国内外冷轧薄钢板生产技术有了很大发展，极大地促进了以冷轧板为基板的电镀产品的发展，包括镀锡、镀铬、镀锌、镀镍等。随着科学技术的发展和环保意识的加强，人们对冷轧表面的电镀工艺提出了新的要求，且对其产品质量的要求也越来越高，尤其是生产技术较为复杂的镀锡/镀铬钢板产品。本书在丰富电沉积理论的基础上，结合材料化学、表面物理化学、结晶化学及现代检测方法等，完善了冷轧薄钢板表面镀锡/镀铬的理论框架。本书在强调基础理论的同时，进一步结合镀锡/镀铬领域的科研、生产实践，注重电化学和物理化学理论分析，偏重于镀锡/镀铬技术的实际应用与分析。

本书在编写过程中参考了周其良翻译的《镀锡薄钢板》、《镀锡板指南》，付作宝主编的《冷轧薄钢板生产》，胡如南和陈松祺编著的《实用镀铬技术》以及安茂忠主编的《电镀理论与技术》等，结合科研过程中的实际问题来分析，力求展示最新的研究进展，突出科学性和技术性。通过本书，读者可以了解镀锡板生产技术、镀铬板生产技术、电沉积的基本理论和基本方法，更重要的是了解如何利用电化学基本原理，解决镀锡/镀铬生产过程中遇到的实际问题，提高分析、解决问题的能力。

本书共 4 章，其中第 1 章由李建中、厉英共同完成，第 2 章、第 3 章和第 4 章由李建中编写。本书在编写过程中得到田彦文教授、杨中东教授、娄太平教授和耿树江教授等的指导和帮助，在此表示衷心的感谢。本书的出版也得到了镀锡/镀铬企业相关技术人员的帮助和指导，在此也深表谢意。

由于作者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者给予批评指正。

作 者

2016 年 11 月

目 录

前言

第 1 章 镀锡/镀铬基板	1
1.1 钢种类型	2
1.2 连铸连轧	4
1.3 酸洗	10
1.3.1 带钢表面氧化铁皮	10
1.3.2 氧化铁皮的组成和结构	11
1.3.3 氧化铁皮的性质及厚度	13
1.3.4 酸洗工序的作用	15
1.3.5 酸洗工艺	15
1.3.6 酸洗设备	16
1.4 冷轧	18
1.4.1 冷轧设备	20
1.4.2 冷轧润滑和轧辊冷却	22
1.4.3 冷轧操作	25
1.5 电解清洗	29
1.5.1 电解清洗工序的作用	30
1.5.2 电解清洗的机理	30
1.5.3 电解清洗的设备和操作	31
1.6 退火	32
1.6.1 退火工序的作用和退火机理	33
1.6.2 退火的方法	34
1.6.3 退火设备和操作	35
1.7 平整	40
1.8 二次冷轧	43
1.8.1 二次冷轧生产方法	43
1.8.2 冷轧工艺	44
第 2 章 镀锡/镀铬电沉积基础	51
2.1 基础理论	51

2.1.1	电解原理	51
2.1.2	法拉第定律	53
2.1.3	电流效率	54
2.1.4	电化学当量	54
2.1.5	电极电位	55
2.1.6	阴极极化和超电势	57
2.1.7	分解电压和槽电压	62
2.1.8	阴极过程	63
2.1.9	阳极过程	65
2.1.10	均镀能力和深镀能力	70
2.2	水溶液电沉积	70
2.2.1	金属离子阴极还原的可能性	70
2.2.2	金属离子在电解液中的存在形式	72
2.2.3	金属离子还原时的极化	74
2.2.4	金属共沉积的基本条件	82
2.2.5	形成合金时金属自由能的变化	84
2.2.6	金属沉积的阴极过程	86
2.2.7	金属电结晶的基本历程	91
第3章	冷轧薄钢板表面镀锡技术	98
3.1	引言	98
3.2	电镀锡的预处理	102
3.2.1	化学脱脂	103
3.2.2	电解脱脂	106
3.2.3	酸洗	108
3.3	电镀锡方法	110
3.3.1	酸性硫酸盐型电镀工艺	111
3.3.2	卤素型电镀锡工艺	114
3.3.3	氟硼酸盐型电镀工艺	115
3.3.4	碱性锡酸盐型电镀锡工艺	115
3.3.5	热浸镀锡板	117
3.4	电镀锡的溶液组成及工艺条件	118
3.4.1	锡离子浓度	118
3.4.2	添加剂	119
3.4.3	杂质离子	120
3.4.4	工艺条件的影响	121

3.5 电镀锡的沉积机理	123
3.5.1 锡的电沉积	123
3.5.2 锡的电沉积成核过程	127
3.6 电镀锡的后处理	139
3.6.1 软熔处理	139
3.6.2 钝化	145
3.7 镀锡板的性能	148
3.7.1 基板性能	148
3.7.2 镀锡板的耐蚀性	171
3.7.3 镀锡板的表面性能	186
3.7.4 镀锡板表面涂饰性	194
3.7.5 镀锡板表面锡焊性	204
3.8 镀锡板的检测方法	206
3.8.1 力学性能检验	207
3.8.2 成形性能试验	208
3.8.3 金相检验	210
3.8.4 镀锡板的镀层及其电量试验法	210
3.8.5 镀锡量的测定	212
3.8.6 氧化膜和钝化膜的测定	219
3.8.7 特殊性能试验	223
3.8.8 孔隙率试验	227
3.8.9 抗硫化斑性能试验	228
3.8.10 油膜的测定	229
3.8.11 锡焊性能试验	231
3.8.12 镀锡板涂料的检验	232
3.8.13 精整表面	235
3.9 镀锡板的涂漆和印涂装饰	235
3.9.1 常用的涂料种类和镀锡板印涂概述	235
3.9.2 辊涂工艺	238
3.9.3 照相-平版印刷	240
3.9.4 印版制造	241
3.9.5 印刷	241
3.9.6 紫外线固化	242
3.9.7 图样变形印刷法	242
3.9.8 已成形的两片罐的印涂装饰	243

第4章 冷轧薄钢板表面镀铬技术	244
4.1 引言	244
4.1.1 镀铬钢板的优点	245
4.1.2 镀铬钢板的缺点	245
4.1.3 镀铬钢板的国内外发展现状	246
4.1.4 镀铬钢板国内外的应用	249
4.2 镀铬层的腐蚀机理	250
4.2.1 金属的腐蚀	251
4.2.2 电化学腐蚀机理	257
4.2.3 镀层的腐蚀机理	259
4.3 镀铬过程原理	262
4.3.1 镀铬工艺的特点	263
4.3.2 镀铬的结晶过程	265
4.3.3 镀铬溶液的组成	269
4.3.4 镀铬过程的电极反应	271
4.3.5 硫酸根在电极反应过程中的作用	275
4.4 镀铬板的生产工艺	277
4.4.1 低浓度铬酸镀铬	278
4.4.2 铬型镀铬钢板的电镀工艺	281
4.4.3 催化剂的影响	285
4.4.4 三价铬浓度的影响	291
4.4.5 杂质浓度的影响	293
4.4.6 操作条件对电流效率的影响	295
4.4.7 操作条件对覆盖能力的影响	298
4.4.8 稀土镀铬添加剂的应用	300
4.5 镀铬板的表面性能	304
4.5.1 镀铬板的表面结构	304
4.5.2 基板表面特性对镀铬板耐蚀性的影响	311
4.6 镀铬板的检测方法	315
4.6.1 表面膜量的测定	315
4.6.2 镀铬板表面耐蚀性	319
4.6.3 镀铬板表面涂饰性	323
4.6.4 镀铬板接合性	329
4.6.5 镀铬板耐热性	331
4.7 镀铬板生产过程的阳极腐蚀	332

4.7.1 镀铬用不溶性阳极的选用	332
4.7.2 不同阳极在镀液中的电化学行为	333
4.7.3 铅阳极在镀液中的腐蚀行为及其电化学性能	346
参考文献	385

第 1 章 镀锡/镀铬基板

镀锡/镀铬板基本上是一种钢材产品，因为它实质上是两面镀了锡/铬的薄钢板。故此，镀锡/镀铬板的制造过程可以分成两个阶段，一是制得具有所需尺寸和力学性能的低碳薄钢带或钢板，二是在冷轧钢板表面镀锡/镀铬。

图 1-1 是镀锡/镀铬板制造过程示意图，图中给出了该制造过程的主要工序。

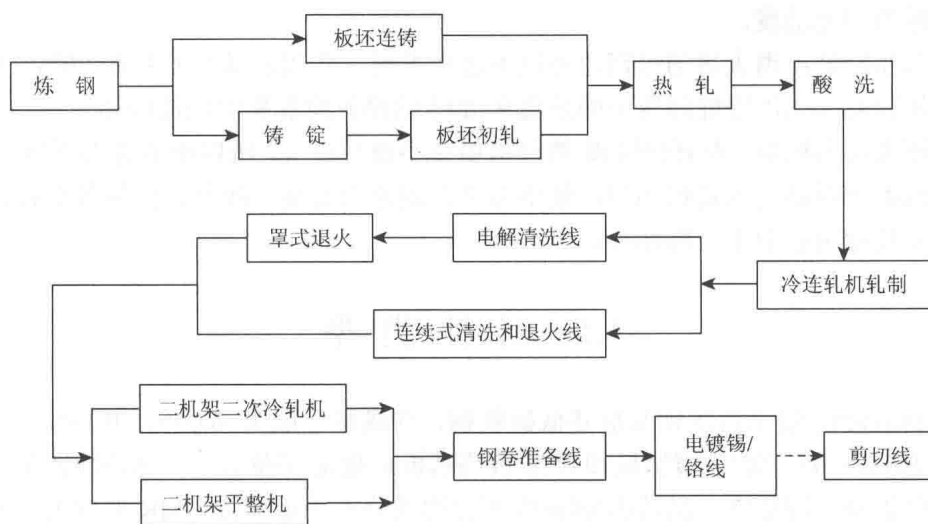


图 1-1 镀锡/镀铬板制造过程示意图

从工艺流程上看，镀锡/镀铬基板是指进入镀锡/镀铬机组之前的薄钢板。它所用的钢坯有模铸坯和连铸坯两种。模铸坯经初轧厂开坯后送入热轧带钢厂。连铸坯直接送入热轧带钢厂。

钢坯通过连续式热轧机轧成厚度为 2~2.5 mm、宽度最大为 1100 mm、质量为 8~20 t 的钢卷。

连续酸洗：酸洗作业线是为下一步冷轧工序进行准备的作业线。在酸洗工序中，用硫酸或盐酸对热轧带钢进行酸洗，目的是除掉热轧时所产生的氧化铁皮，使之露出清洁的钢表面。

冷轧：将酸洗后钢卷高速地一边开卷一边相继通过可逆轧机或连轧机进行冷轧，每道轧制将带钢厚度减薄 10%~35%，在最后卷取时成为厚度在 0.15~0.55 mm 的带钢。

电镀清洗：电镀清洗是下一步退火工序的准备工序。在碱性溶液中对带钢进行电解清洗，以除掉冷轧时黏附在带钢表面的油脂，使之露出洁净的钢表面。

退火：由于带钢在冷轧时变形量很大，产生了加工硬化，带钢变得很硬，用作生产镀锡/镀铬板是不合适的，它不能进行再加工，所以必须进行再结晶退火，使之变软而易于加工。为此，要把冷轧带钢加热到 600℃ 以上进行退火，退火的方法有两种，一种是把钢卷堆垛起来进行退火的罩式炉退火法，另一种是一边开卷一边连续进行退火的连续式退火法。

平整：前面的冷轧工序是以轧薄为目的，冷轧时带钢上要喷轧制油。在平整工序中带钢的厚度减薄得很少（在 3% 以下），其目的是赋予镀锡/镀铬基板以适当的硬度和机械性能，消除屈服平台，此外，还能改善带钢表面质量和板形，使之具有适当的光洁度。

二次冷轧：退火后的带钢也可以不进行平整，而代之以压下率为 20%~40% 的二次冷轧。二次冷轧时所用的油脂在镀锡/镀铬机组脱脂时应能除掉。

钢卷准备机组：在有些镀锡/镀铬机组中不设切边剪，所以钢卷进入镀锡/镀铬机组前必须经钢卷准备机切边，使钢卷符合规定的宽度。此外，在钢卷准备机组中还要切除钢卷中不合格部分。

1.1 钢 种 类 型

制造镀锡/镀铬板的钢基板是低碳软钢，含碳量一般为 0.03%~0.13%。在日本按 JIS G3303《镀锡/镀铬板和镀锡/镀铬基板》规定（表 1-1）。这些数据是钢包取样分析值，同最终成品镀锡/镀铬板所含的成分不一定一致。MR 型钢用于制作普通的食品容器，其耐蚀性很好；MC 型钢的磷含量较高，用于对强度有要求而对耐蚀性要求不高的制品。

表 1-1 JIS G3303 中规定的钢包取样分析值（%）

钢种	C	Si	Mn	P	S	Cu
MR	≤0.13	≤0.01	≤0.60	≤0.020	≤0.050	≤0.20
MC	≤0.13	≤0.01	≤0.70	≤0.150	≤0.050	≤0.20

这种钢大多用碱性氧气转炉炼钢法（BOS）冶炼。现代氧气转炉炼钢的生产率可达 400 t/h，同 60 t/h 的平炉炼钢生产率相比，炼钢厂的生产率有了很大提高。碱性氧气转炉炼钢法可以生产含氮和磷很低、具有良好成形性和力学性能的钢。

当熔融状态的钢水冷却到开始发生凝固的温度范围时，溶解在金属中的气体的溶解度减小，其中不能再保持在金属熔体内的气体从金属中排出。随着温度的

降低, 钢水中碳和氧之间的化学平衡发生变化, 使得这两种元素发生反应生成一氧化碳, 因此在冷却过程中, 一氧化碳从金属中放出而使这个体系建立新的平衡。熔融状态的钢水并不是在一个精确的温度下发生凝固的, 因此, 从液态的部分中放出的气体会被捕集在半固态的塑性状态部分内而形成气孔。控制气体放出过程的方法是调整钢水中溶解氧的量, 以使碳和氧之间不可避免地反应至一定的程度。钢水中溶解氧的数量可在某种程度上通过控制炼钢炉内熔渣的特性而得到控制, 但主要是通过向熔融的钢水中加入脱氧剂(如铝或硅, 或其他有专利权的脱氧剂产品)来加以控制。根据所生产的钢的特定类型, 脱氧剂可以在炼钢的精炼期加到炼钢炉、钢包或钢锭模内, 或者需要时在三者之中都加脱氧剂。

若要求镀锡/镀铬板具有特别优良的深冲性能, 就需要用稳定化的镇静钢。这时要加入足量脱氧剂以除去钢水中所存在的全部氧, 使之在凝固过程中很少或完全不放出气体。这类钢是均质的而且没有偏析, 但产品收得率要低, 因此镇静钢比沸腾钢生产成本高。镇静钢和半镇静钢可以用模铸法或连铸法浇铸。

生产镀锡/镀铬板用的沸腾钢一般是浇铸成断面为矩形、质量为 10~25 t 的钢锭。在凝固过程中, 随着钢的逐渐冷却, 在钢锭的侧边形成一层纯度比较高、坚实的固态金属边壳, 而大部分杂质则偏析至熔融状态的中心部分。沸腾钢就是指用这种方法生产的钢, 用它轧成的带钢表层相当纯, 可得到良好的表面质量。

根据预定的性能要求, 对上述气体放出过程加以不同程度的抑制, 可以制得不同类型的钢, 包括镇静钢、半镇静钢、封顶钢和沸腾钢。

沸腾钢是脱氧程度最弱的钢种, 因此凝固是在钢锭模与钢水界面附近, 由于碳与氧反应生成一氧化碳, 可以看到产生的大量气泡, 所以界面上的夹杂物被冲刷掉, 钢水也随着气泡的流动而发生对流, 使钢锭表面层极其干净, 夹杂物很少。用这种钢生产的镀锡/镀铬板表面质量好。沸腾钢的缺点是, 钢锭内部不同位置的成分差别大, 所以机械性能波动较大, 特别是钢锭下半部在形成沸腾钢的过程中还容易产生粗大的夹杂物。

镇静钢是完全脱氧的钢种。一般用铝作脱氧剂, 这种钢成分比较均匀, 组织致密, 所以深冲性能好。镇静钢由于凝固时发生收缩, 钢锭上部生成缩孔。钢锭在初轧开坯时要切除缩孔部分, 因此开坯收得率低。可是随着连铸镇静钢技术的发展, 镀锡/镀铬板技术发展最快的美国、日本等国家, 几乎都是用连铸镇静钢制作镀锡/镀铬板。采用连铸钢的优点是, 省掉了初轧开坯的工序、成本低、收得率高。另外, 钢坯的化学成分及机械性能均匀、稳定, 平坦度好, 其耐腐蚀性能与模铸钢相同。

封顶钢的脱氧程度与沸腾钢相同, 但将沸腾钢注入钢锭模中后, 不多久就加上压盖或加脱氧剂以促进钢锭头部凝固, 将沸腾作用在中途就强制地加以抑制。前者称为机械封顶钢, 后者称为化学封顶钢, 通常使用机械封顶钢。同沸腾钢相

比，封顶钢的成分偏析小，而且钢锭表面质量和沸腾钢相差不多，所以有逐渐取代沸腾钢的趋势。由于封顶钢外壳层内不产生气泡的一圈很薄，所以因气泡而产生的表面缺陷的可能性较沸腾钢大。

半镇静钢的钢水脱氧程度介于镇静钢和沸腾钢之间，在注入钢锭模后会产生若干气泡，又可使凝固时产生的缩孔减小到最小限度。这种钢在初轧开坯时的收得率较高，大多用于大量生产的结构钢，但常常因表面附近有气泡而产生缺陷。

此外，还有一种真空脱气法，所生产的钢锭表面质量和沸腾钢同样好，兼有铝镇静钢质量均匀、加工性能好的优点。随着真空脱气法的发展，利用其也已经生产出用脱氧剂不太多而表面质量又好的超低碳镇静钢，但同沸腾钢和封顶钢相比，成本高很多。

镀锡/镀铬板钢种的化学成分，在国际镀锡/镀铬板的标准 ISO 1111 及我国镀锡/镀铬板标准 GB 2520—2000 中没有规定，仅美国材料与试验协会标准 ASTM A623 中有相关规定，日本标准 JIS G3303 中也沿用了一部分。美国材料与试验协会标准 ASTM A623 中镀锡/镀铬板化学成分见表 1-2。

表 1-2 镀锡/镀铬板化学成分

元素		碳	锰	磷	硫	硅	铜	镍	铬	钼	其他
浇铸成分 最大含 量/%	D 钢	0.12	0.6	0.02	0.05	0.02	0.02	—	—	—	—
	L 钢	0.13	0.6	0.015	0.05	0.01	0.06	0.04	0.06	0.05	0.02
	MC 钢	0.13	0.7	0.015	0.05	0.01	0.20	—	—	—	—
	MR 钢	0.13	0.6	0.02	0.05	0.01	0.20	—	—	—	—

D 钢是铝镇静钢，是一种具有超深冲性能的非时效钢。

L 钢是一种非金属残余元素含量极少的基本钢，用于要求耐蚀性能特别优良的食品容器。

MC 钢是一种含磷钢，残余元素含量与 MR 钢相似，用于要求强度高而对耐蚀性能要求不高的食品容器。

MR 钢是用于制作一般食品容器的基本钢。非金属含量与 L 钢相似，但残余元素比 L 钢稍多。

还有一类 N 钢，是在上述 L、MC、MR 钢中加入至少 0.007%氮而成的改良钢。因加了氮元素，这类钢被氮化，其强度提高。

1.2 连铸连轧

生产镀锡/镀铬板用的大部分是沸腾钢和封顶钢（这种钢的脱氧程度与沸腾钢

相同,但铸锭方法略有不同)。在脱氧过程中所生成的夹杂物从钢水中脱离出去的程度,以及为了得到表面质量良好的钢锭而进行的温度调节,都是极为重要的操作因素。

在成分和温度调整结束以后,钢水从钢包浇入钢锭模中。浇铸的方法有上注法和下注法两种。上注法是钢水从上面注入钢锭模的方法,下注法是钢水通过耐火砖制的管子从钢锭模的底部向上进入模中的方法。从生产效率和收得率方面看,上注法较为有利,而从钢锭表面质量上看,下注法比较好。

钢水注入钢锭模的操作是决定钢锭质量是否良好的重要环节,它会影响钢锭的表面质量、成分偏析、粗大夹杂物的生成等。所以应根据不同的钢种,充分注意浇铸速度、浇铸温度、钢锭模的状况、脱氧剂的加入方法及打开时间等各项操作条件。

另外,近年来连续浇铸已有迅速发展。将盛钢桶内的钢水分别浇入钢锭模内的铸锭方法,在工厂占地面积、初轧收得率等方面存在许多问题,特别是浇铸镇静钢时,由于凝固时产生缩孔,收得率大大降低。与此相反,连续铸钢不需要宽大的钢锭模准备场和板坯初轧机,而且收得率非常高。但是以往由于连续铸钢法难以浇铸沸腾钢,生产效率低,在镀锡/镀铬板和其他冷轧产品的生产中不大采用。

近来,随着进入式水口的发明、结晶器润滑器的改良、液面控制装置的发明、表面质量和沸腾钢一样好的镇静钢的发明等,人们已经能够生产出质量稳定的连续铸钢坯。而且将原来的在每一个盛钢桶浇铸结束后立即进行修补的连续铸钢法进一步发展为两个以上盛钢桶连续进行浇铸的多炉连续铸钢法,使生产效率大幅度提高。据报道,由于发明了浇铸过程中以几分之一秒的时间变换中间罐的水口的装置,以及由于采用作业线内定尺轧机,可以直接调整连铸后板坯的尺寸,大幅度地减小了结晶器断面的更换,因此曾经连续铸出数千吨板坯。

从铸钢车间运到初轧车间的钢锭,其外表面和内部的温度不同,所以要送到均热炉使整个钢锭温度均匀,并加热到适于进行初轧的温度。均热炉还起着炼钢车间同初轧车间之间的缓冲作用。

从均热炉取出的钢锭送往初轧机轧成板坯,板坯厚170~270 mm,质量为10~20 t,并有向更大型化发展的趋势。

初轧后的板坯经过火焰清理使表面均匀化后,剪切,冷却,并进行半成品修整。半成品的缺陷是钢锭的各种缺陷和初轧开坯时所产生的缺陷出现在板坯表面上形成的,如果任其残留在表面上,就会变成镀锡/镀铬基板的缺陷,所以必须在板坯送往下一工序前完全清除掉。

对表面缺陷的检查、修整工作结束后,板坯送入加热炉中加热到适于热轧的温度。通常最适合的温度是1250~1320℃,在加热操作中也必须充分注意防止在

炉内或出入炉时产生缺陷。

从加热炉取出的板坯，通过连续式带钢热轧机轧到预定的冷却前的温度。典型的热轧作业线包括（按顺序）加热炉数座、粗轧破鳞机一座、精轧破鳞机一座、四辊精轧机六座、热带钢辊道、卷取机四座。这些设备除加热炉外，全部排列成直线（图 1-2）。

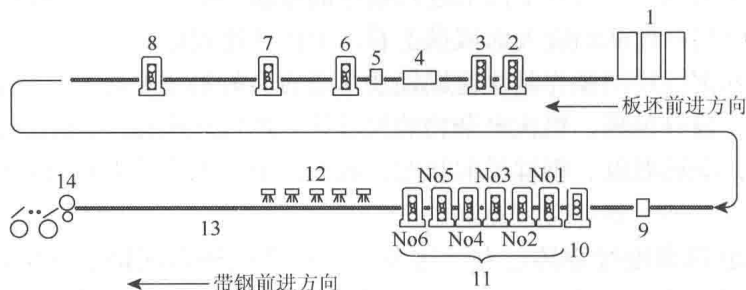


图 1-2 全连续式带钢热轧连轧机

1-加热炉；2-粗轧破鳞机；3-No1 粗轧机；4-板坯轧边机；5-剪切机；6-No2 粗轧机；7-No3 粗轧机；8-No4 粗轧机；9-端头剪切机；10-精轧破鳞机；11-精轧机；12-冷却水喷头；13-热带钢辊道；14-卷取机

粗轧破鳞机的作用是将加热炉中的氧化皮（一次氧化皮）用辊子机械地压碎，再喷高压水冲掉，防止氧化皮在粗轧机内被压入带钢表面。粗轧机有连续式和半连续式两种。最近建造的新轧机全部是连续式。粗轧时的温度通常是 $1050 \sim 1250^{\circ}\text{C}$ 。粗轧机的作用不仅是将板坯轧到适于精轧的尺寸，还要将在加热炉中变得粗大的晶粒轧小。

精轧前的精轧破鳞机的作用是将粗轧前的氧化皮除去后又新生成的氧化皮（二次氧化皮）除掉，防止氧化皮在精轧机内被压入带钢表面。带钢在通过精轧机各机架的过程中，厚度减小，宽度增大。从最后一座轧机出来的带钢在热带钢辊道上喷高压水冷却以后，用卷取机卷取。镀锡/镀铬板用的热轧带钢大多是厚 $2.0 \sim 2.3 \text{ mm}$ 、宽 $680 \sim 940 \text{ mm}$ 的带钢。

在热连轧机组中，板坯从原来的厚度（ 250 mm ）逐步地被减薄至约 2 mm ，减薄的程度取决于最终产品的要求。热轧后的带钢先在输出辊道上冷却并控制至一定的卷取温度，然后卷取以供下一步加工。热轧条件对镀锡/镀铬板的表面状态、机械性能、板形、晶粒度、耐蚀性等都有很大影响。对于表面缺陷而言，特别要注意的是在粗轧和精轧前应除净氧化皮，防止轧辊表面变粗糙等。对于机械性能和晶粒度而言，主要的影响因素是终轧温度和卷取度，通常最适合的终轧温度为 $820 \sim 870^{\circ}\text{C}$ ，卷取温度为 $620 \sim 670^{\circ}\text{C}$ 。对于板形和尺寸而言，主要的影响因素是轧辊凸度、轧制温度、宽度方向和轧制方向上的温度分布、张力控制等，但最重要的是应使带钢轧成具有平滑的凸形断面形状。对于耐蚀性，

最重要的是带钢表面所产生的氧化皮的酸洗性，从精轧机出来后的冷却速度对此影响很大。

1989年由SMS公司设计制造的紧凑型热带生产线(CSP)在美国NUCOR Craw-fordville投产(图1-3)。这是全新的短流程热带生产工艺，取消了加热炉区和粗轧区，由薄板坯连铸机直接浇铸出50 mm板坯，通过近100 m长的隧道炉进入精轧机(采用强力精轧机轧制50 mm板坯)，精轧机的后续布置类似于传统热连铸。

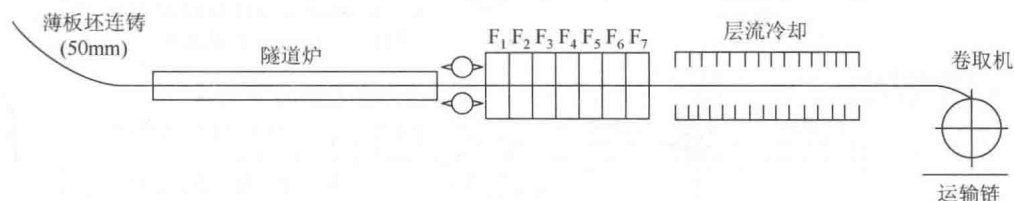


图1-3 CSP连铸连轧生产线

薄板坯连铸机的拉速为4.5~6 m/min，因此从连铸机浇铸速度匹配角度考虑，可以设立两台薄板坯连铸机，但即使设两台连铸机，轧机速度最高仍需仅10~15 m/s。

CSP技术使带钢热连轧的初始投资及生产成本大幅降低，仅需一套电炉-连铸-热带轧机，即能生产出80万~180万t热轧卷，因此在不少新厂，尤其是在美国等一些废钢、电能都较充足、便宜的国家得到迅速发展。CSP进一步用于高炉-转炉-薄板坯连铸-热带轧机，使得这一技术进一步推广应用。

但是第一代CSP技术也存在以下缺点：薄板坯连铸拉漏率高于常规连铸；连铸及连轧任意一方的故障将造成全线停产；品种受到限制；产品表面质量稍差。

当然，随着CSP技术的不断发展，这些缺陷逐步得到克服。目前已有20多条CSP生产线在各国投产，我国也相继建成3条生产线。

随着软压下技术的发展，CSP技术开始采用64 mm结晶器通过软压下获得48 mm的板坯送入精轧。也可采用90 mm结晶器通过软压下获得70 mm板坯，经一机架不可逆粗轧后送入精轧机组。

1992~1995年德马克在意大利Arvedi厂及南非Sakdhanha厂建立了ISP线，采用80~90 mm结晶器经软压下获得60~70 mm板坯，通过一机架或二机架不可逆粗轧机轧出带坯送入热板卷箱，然后进精轧机轧出成品。

奥钢联在瑞典Aveats sheffield厂试验Conroll技术，即浇铸出厚度为80 mm的板坯，经均热式加热炉短时加热后进轧机。20世纪90年代结合美国Armco老厂改造，采用125 mm的中薄板坯连铸机铸出板坯直接进入宽体步进炉，经短时加热后用该厂已有的粗轧及精轧机轧制不锈钢。

同一时间,达理利(Danieli)公司也在意大利 Sabolarie 厂采用薄板坯连铸机铸出 90 mm 连铸坯,通过软压下获 70 mm 板坯,经隧道炉、粗轧及中间热辊道(保温及少量加热)进精轧。

20 世纪 90 年代初期到中期,各公司竞相推出诸多连铸连轧方案,图 1-4 给出各种连铸连轧方案示意图。

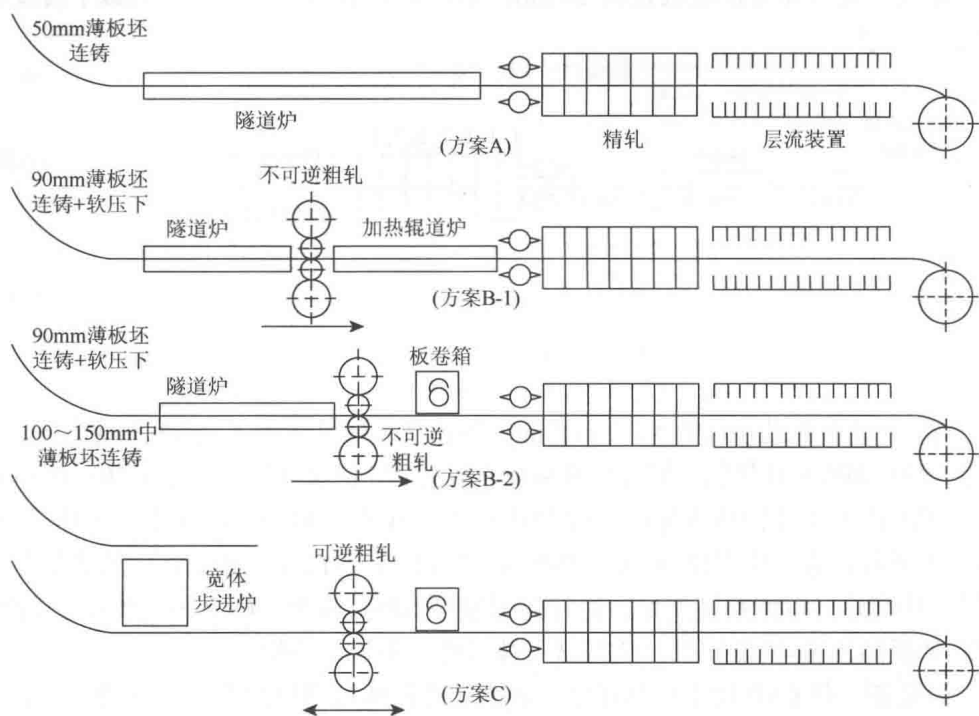


图 1-4 各连铸连轧方案示意图

由图 1-4 可见,各公司方案归纳起来可分为以下三类工艺:

薄板坯连铸机浇铸出 50 mm 或 70 mm 连铸坯,通过软压下获得 50 mm 左右带坯,通过隧道炉直接进行精轧(方案 A)。

薄板坯连铸机浇铸出 90 mm 板坯,通过软压下获得 70 mm 板带,经隧道炉后进行不可逆粗轧,再经保温罩或中间加热炉进精轧(方案 B-1)。也可从粗轧出来后进板卷箱,再进精轧(方案 B-2)。

中薄板坯连铸机浇铸出 100~150 mm 连铸坯,装入宽体步进式加热炉,出炉后通过粗轧(可逆)、精轧(方案 C)。

这三种方案各有优缺点:

方案 A: 投资低;产量 100 万~200 万 t (用两台连铸机时);能生产 1.2~1.5 mm 的薄规格带卷;连铸机拉漏率较高,但随着技术发展将会逐步得到改善;